



Рисунок 2 - Термоэлектрические свойства полученного образца: теплопроводность (а), удельная электропроводность (б), коэффициент Зеебека (в), термоэлектрическая эффективность (г)

*Исследование выполнено при финансовой поддержке
Российского Научного Фонда (проект № 22-79-10278)*

ЛИТЕРАТУРА

1. Trusov G. V. et al. Spray solution combustion synthesis of metallic hollow microspheres // The Journal of Physical Chemistry C. – 2016. – Т. 120. – №. 13. – С. 7165-7171.
2. Liu L. et al. Influence of transition metal electronegativity on the oxygen storage capacity of perovskite oxides // Chemical Communications. – 2016. – Т. 52. – №. 68. – С. 10369-10372.
3. Singh S. P. et al. Thermoelectric properties of non-stoichiometric $\text{CaMnO}_{3-\delta}$ composites formed by redox-activated exsolution // Journal of the European Ceramic Society. – 2020. – Т. 40. – №. 4. – С. 1344-1351.
4. Lohnert R., Töpfer J. Enhancing the thermoelectric properties of $\text{CaMnO}_{3-\delta}$ via optimal substituent selection // Journal of Solid State Chemistry. – 2022. – Т. 315. – С. 123437.

УДК 543.552.054.1

Е.О. Булышева, Р.А. Зильберг

Уфимский университет наук и технологий, г.Уфа, Россия

НАНОКОМПЗИТЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТНОГО КОМПЛЕКСА ХИТОЗАН – СУКЦИНАМИД ХИТОЗАНА, С НАПОЛНИТЕЛЯМИ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ

В последние годы растет интерес к разработке многочисленных легких или складных электронных устройств, таких как электрохром-

ные дисплеи, перезаряжаемые батареи, гибкие полимерные транзисторы и сенсоры, не теряющие электронных свойств при растяжении, которые в перспективе возможно применять в медицине, биосовместимых интерфейсах человек-компьютер и создании «электронной кожи». Перспективной основой для создания активного слоя таких устройств служат полимерные нанокомпозитные структуры, образующиеся при смешивании проводящих полимеров с наноразмерными частицами [1]. Их свойства выгодно отличаются от свойств начальных материалов. Повышаются прочность и жесткость, теплостойкость, устойчивость к ультрафиолетовому излучению, изменяются вольтамперные характеристики, тепловая и электрическая проводимость. С этой целью углеродные материалы являются особенно интересными кандидатами в качестве наполнителя для проводящих полимерных композитов [2-4].

В настоящей работе был предложен тонкопленочный полимерный нанокомпозит на основе полиэлектролитного комплекса хитозан-сукцинамида хитозана, где в качестве наполнителей были использованы наноразмерные углеродные частицы: одностенные углеродные нанотрубки, оксид графена, углеродсодержащие сорбенты [5] с различной удельной поверхностью (Carboblack C и Carborack). Экспериментально был установлен оптимальный состав композитов, полученных на основе концентрации наночастиц CarboblackC и Carborack 2 мг в 1 мл ПЭК, а для ОГ и ОУНТ 3 мг в 1 мл ПЭК. Электропроводность композитов измеряли с помощью циклической вольтамперометрии. Заметное увеличение токов пиков окислительно-восстановительной пары $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-/4-}$ наблюдалось после введения частиц в пленку ПЭК, что связано с уменьшением сопротивления переносу заряда и увеличением проводимости. Для характеристики электронного переноса на рассматриваемых электродах использована спектроскопия электрохимического импеданса. Для модифицированных электродов диаметр полукруга значительно меньше, чем для СУЭ, что свидетельствует об увеличении скорости переноса заряда и снижении сопротивления переносу заряда по сравнению с СУЭ, что подтверждает увеличение скорости переноса заряда. Эффективная площадь поверхности, рассчитанная по уравнению Рэндлса-Шевчика, возросла, по сравнению с СУЭ (Таблица 1). Используя программу Gwyddion по данным атомно силовой микроскопии были рассчитаны среднеквадратичные шероховатости поверхности пленок по площади 20 на 20 мкм: Sr=15 нм (ПЭК), Sr=60 нм (ПЭК-Carborack), Sr=67 нм (ПЭК-CarboblackC), Sr=73 нм (ПЭК-ОГ), Sr=38 нм (ПЭК-ОУНТ).

Таблица 1 – Параметры спектров электрохимического импеданса и эффективной площади поверхности

Сенсор	A , мм ²	R_{et} , Ом
СУЭ	7.93±0.06	768.0±0.2
СУЭ/ПЭК	10.33±0.06	250.1±4.1
СУЭ/ПЭК CarboblackC	10.57±0.13	129.3±0.9
СУЭ/ПЭК-Carborack	11.31±0.11	92.4±1.9
СУЭ/ПЭК-ОГ	12.63±0.19	84.1±1.7
СУЭ/ПЭК-ОУНТ	13.39±0.18	47.2±2.5

Композитные сенсоры обладают высокой эффективной площадью поверхности и скоростью переноса электронов. На основе исследованных пленок созданы полевые транзисторы и измерены их выходные и передаточные характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Salikhov, R.B. Nanocomposite thin film structures based on polyarylenephthalide with SWCNT and grapheme oxide fillers / R.B. Salikhov, R.A. Zilberg, I.N. Mullagaliev, T.R. Salikhov, Y.B. Teres // Mendeleev Communications. – 2022. – Vol. 32, № 4. – P. 520-522.
2. Майстренко, В.Н. Энантиоселективные вольтамперометрические сенсоры на основе хиральных материалов / В.Н. Майстренко, Р.А. Зильберг // Журнал аналитической химии. – 2020. – Т. 75, № 12. – С. 1080-1096.
3. Яркаева, Ю.А. Вольтамперометрический сенсор на основе композита 3,4,9,10-перилентетракарбоновой кислоты для распознавания и определения энантиомеров тирозина / Ю.А. Яркаева, Д.И. Дубровский, Р.А. Зильберг, В.Н. Майстренко, В.М. Корнилов // Журнал аналитической химии. – 2020. – Т. 75, № 12. – С. 1108-1118.
4. Зильберг, Р.А. Вольтамперометрический сенсор на основе аминокислотного комплекса меди (II) для определения энантиомеров триптофана / Р.А. Зильберг, Ю.Б. Терес, Л.Р. Загитова, Ю.А. Яркаева, Т.В. Берестова // Аналитика и контроль. – 2021. – Т. 25, № 3. – С. 193-204.
5. Zilberg, R.A. Chiral voltammetric sensor for warfarin enantiomers based on carbon black paste electrode modified by 3,4,9,10-perylenetetra-carboxylic acid / R.A. Zilberg, V.N. Maistrenko, L.R. Zagitova, V.Y. Guskov, D.I. Dubrovsky // Journal of Electroanalytical Chemistry. – 2020. – Т. 861. – С. 113986.